



# **Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

**Facultad de Ciencias Biológicas**

**Escuela Profesional de Ciencias Biológicas**

## **Rotíferos como indicadores de la calidad ambiental en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Juan de Miraflores (PTAR Sedapal- SJM)**

### **TESIS**

**Para optar el Título Profesional de Bióloga con mención en  
Zoología**

### **AUTOR**

**Sara BLAZ RÍOS**

### **ASESOR**

**Ruperto SEVERINO LÓPEZ**

**Lima, Perú**

**2019**



**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**  
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)

**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**ACTA DE SESIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE  
BIÓLOGA CON MENCIÓN EN ZOOLOGÍA  
(MODALIDAD: SUSTENTACIÓN DE TESIS)**


Siendo las 10:05 horas del 11 de febrero de 2019, en el Salón de Grados de la Facultad de Ciencias Biológicas y en presencia del jurado formado por los profesores que suscriben, se dio inicio a la sesión para optar al Título Profesional de Bióloga con mención en **Zoología** de **SARA BLAZ RIOS**.


Luego de dar lectura y conformidad al expediente N° 044-EPCB-2018, la titulando expuso su tesis: **"ROTIFEROS COMO INDICADORES DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE SAN JUAN DE MIRAFLORES (PTAR SEDAPAL - SJM)"**, y el Jurado efectuó las preguntas del caso calificando la exposición con la nota 15, calificativo: Aprobado.

Finalmente, el expediente será enviado a la Escuela Profesional de Ciencias Biológicas y al Consejo de Facultad para que se apruebe otorgar el Título Profesional de Bióloga con mención en **Zoología** a **SARA BLAZ RIOS** y se eleve lo actuado al Rectorado para conferir el respectivo título, conforme a ley.


Siendo las 11:15 horas se levantó la sesión.

Ciudad Universitaria, 11 de febrero de 2019.

  
Mg. IRIS SAMANEZ VALER  
(PRESIDENTA)

  
Blgo. RUPERTO SEVERINO LOPEZ  
(ASESOR)

  
Mg. LILIANA TAPIA UGAZ  
(MIEMBRO)

  
Blga. MARIBEL BAYLON CORITOMA  
(MIEMBRO)

## **DEDICATORIA**

A Dios. Por darme la fuerza y perseverancia para asumir los retos de la vida; A mis padres Enma Rosadia Rios Susano y Pedro Amador Blaz Mayhuazca por la confianza y su cariño incondicional, a mis hermanos Débora y Josué por su apoyo moral en todo momento.

A mí querido esposo Ivan e hijo Sebastian por todo su soporte emocional.



## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por ser mi alma mater y albergarme entre sus aulas.

Por todo el apoyo brindado y por promover el desarrollo de la investigación a SEDAPAL.

Al Ing. Marco Antonio Pinchi Valdez (Encargado de la PTAR-S.J.M.), por permitir realizar el trabajo de tesis y brindar su apoyo incondicional y los conocimientos brindados durante el desarrollo de la investigación, para culminar con éxito este trabajo de tesis.

Al Técnico Julio Lema Ferrel, por su apoyo incondicional y los conocimientos brindados, para culminar con éxito este trabajo de tesis.

Al Blgo. Ruperto Severino López, por brindarme su apoyo para culminar con éxito este proceso.

A la Mg. Iris Samanez, por compartir sus conocimientos y consejos en este campo de investigación.

A la Mg. Liliana Del Rosario Tapia Ugaz, por sus valiosas observaciones.

A Blga. Maribel Baylon Coritoma, por sus apreciaciones incalculables

A mis maestros, por el apoyo y la enseñanza brindada en estos años de formación académica y personal.

## RESUMEN

El objetivo de esta tesis fue identificar las especies de rotíferos que puedan ser utilizados como bioindicadores de la calidad ambiental en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Juan de Miraflores (PTAR-SJM). Se colectaron un total 88 muestras, en la PTAR-SJM, durante los meses de: diciembre, 2017; marzo, 2018 y junio, 2018. Las muestras fueron obtenidas de 02 puntos ubicados en: Entrada de Sedimento y Entrada de Pulimento, en 02 horarios diferentes 10 horas y 13 horas. Se evaluaron parámetros fisicoquímicos (pH, oxígeno disuelto y temperatura). La caracterización morfológica de los rotíferos se realizó tomando como referencia las citas de Romero (2008) y Toscano & Severino (2013). La densidad de los rotíferos se registró en individuos/10ml<sup>-1</sup>. El análisis estadístico se realizó utilizando la prueba estadística ANOVA (nivel de significancia 0.05). Los resultados obtenidos de pH, oxígeno disuelto y temperatura son óptimos para la supervivencia de los rotíferos en las aguas de la PTAR-SJM. Cuatro especies de rotíferos fueron identificadas: *Keratella sp.*; *Brachionus quadridentatus*; *Brachionus plicatilis* y *Brachionus angularis*; las densidades de todas las especies fueron mayores en la Entrada de Sedimento: 5.27 individuos/10ml<sup>-1</sup>, 22.6 individuos/10ml<sup>-1</sup>, 26.94 individuos/10ml<sup>-1</sup>, 26.06 individuos/10ml<sup>-1</sup> y menores en la Entrada de Pulimento: 1.30 individuos/10ml<sup>-1</sup>, 5.36 individuos/10ml<sup>-1</sup>, 5.68 individuos/10ml<sup>-1</sup>, 4.86 individuos/10ml<sup>-1</sup>. En conclusión, las cuatro especies de rotíferos identificadas pueden ser consideradas como bioindicadores de la calidad ambiental en el área muestreada, debido a su frecuente presencia en los puntos de muestreo; además, por las diferencias significativas encontradas entre las densidades de rotíferos entre las 02 zonas de muestreo, que marcan el mejoramiento de la calidad ambiental de Sedimento a Pulimento.

## ABSTRACT

The objective of this thesis was to identify the rotifer species that can be used as bioindicators of environmental quality in the Wastewater Treatment Plant of San Juan de Miraflores (WWTP-SJM). A total of 88 samples were collected at the WWTP-SJM during the months of: december, 2017; march, 2018 and june, 2018. Samples were obtained from 02 points located in: Sediment Input and Polishing Input, in 02 different times 10 hours and 13 hours. Physicochemical parameters (pH, dissolved oxygen and temperature) were evaluated. The morphological characterization of the rotifers was made taking as reference the citations of Romero (2008) and Toscano & Severino (2013). The density of the rotifers was recorded in individuals / 10ml<sup>-1</sup>. The statistical analysis was performed using the ANOVA statistical test (level of significance 0.05). The results obtained from pH, dissolved oxygen and temperature are optimal for the survival of the rotifers in the waters of the WWTP-SJM. Four species of rotifers were identified: *Keratella sp.*; *Brachionus quadridentatus*; *Brachionus plicatilis* and *Brachionus angularis*; the densities of all the species were greater in the Sediment Entrance: 5.27 individuals / 10ml<sup>-1</sup>, 22.6 individuals / 10ml<sup>-1</sup>, 26.94 individuals / 10ml<sup>-1</sup>, 26.06 individuals / 10ml<sup>-1</sup> and lower in the Polishing Entrance: 1.30 individuals / 10ml<sup>-1</sup>, 5.36 individuals / 10ml<sup>-1</sup>, 5.68 individuals / 10ml<sup>-1</sup>, 4.86 individuals / 10ml<sup>-1</sup>. In conclusion, the four species of rotifers identified can be considered as bioindicators of the environmental quality in the sampled area, due to their frequent presence in the sampling points; in addition, due to the significant differences found between the densities of rotifers between the 02 sampling zones, which mark the improvement of the environmental quality from Sediment to Polish.

## INDICE

AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	14
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	
4.1 Descripción del lugar de recolección	15
4.2. Método de colecta y transporte de la muestra	15
4.3. Análisis fisicoquímico del agua	16
4.4. Caracterización Morfológica	19
4.5. Evaluación de la densidad	20
4.6 Análisis Estadístico	21
V. RESULTADOS	
5.1 Determinación de los parámetros fisicoquímicos de la entrada de sedimento	22
5.2 Determinación de los parámetros fisicoquímicos de la entrada de pulimento	26
5.3 Comparación de las condiciones ambientales de los puntos de evaluación, durante los 03 muestreos de acuerdo a los parámetros fisicoquímicos	29



5.4 Identificación de las especies de rotíferos en los cuerpos de agua evaluados en la PTAR-SJM	32
5.5 Determinación de la densidad de rotíferos identificados en la PTAR-SJM	34
 VI. DISCUSIÓN	 38
 VII. CONCLUSIONES	 41
 IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 42

## I. INTRODUCCIÓN

---

La conservación de los recursos naturales ha tomado gran importancia en los últimos años y ha despertado en el hombre, la motivación para buscar métodos de cuidado y recuperación de fuentes de estos, de forma que los seres vivos se vean beneficiados a largo corto plazo por esto; dentro de los recursos naturales a los que se les ha tomado particular importancia por ser un recurso vital para el hombre, es el agua, por ello es objeto de estudio de muchas investigaciones, dentro de ellas aquellas relacionadas con el tratamiento de aguas residuales, sobre todo ahora con el proceso de cambio climático que viene afrontando el planeta y que a no muy largo plazo tendrá consecuencias irreparables (Pérez & Camacho, 2011).

De acuerdo a López y Herrera (2015), el alto crecimiento de la población, sobre todo en las áreas urbanas y rurales, ha ocasionado un problema serio en cuanto a la disposición del agua residual doméstica e industrial, lo cual ha generado daños directamente en el medio ambiente, como problemas graves de contaminación, especialmente en países como el nuestro en vías de desarrollo. Según Larios, Gonzales & Morales (2015), la Organización Mundial de la Salud (OMS), señala que la contaminación de este recurso pone en peligro la salud publica debido a las sustancias orgánicas e inorgánicas que a contaminan.

De acuerdo a Yee-Batista (2013) citado por Larios, Gonzales & Morales (2015), el 70% de las aguas residuales de la región latinoamericana no son tratadas, el agua es extraída, usada y devuelta completamente contaminada a los ríos. Esto según Cedrón y Cribilleros (2017), se debe a que los procesos de tratamiento suponen inversiones de capital elevados y costos de operación altos que la mayoría de las comunidades no están en capacidad de asumir ni de financiar, por tanto, el tratamiento de aguas residuales, para su disposición apropiada, constituye uno de los problemas de salud inherente a la actividad humana diaria.

El uso de lagunas de estabilización facultativas en Perú, es la mayor experiencia puesta en práctica en cuanto al tratamiento de las aguas residuales domésticas, la cual se inició en los años 60 en San Juan de Miraflores al Sur de Lima y que luego se replicó en otras partes de Lima y el Perú (López y Herrera, 2015). De acuerdo a los datos de SEDAPAL, actualmente la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Juan de Miraflores (PTAR-SJM), donde tiene lugar la presente investigación, reemplaza a las antiguas lagunas de oxidación de la zona; su caudal de diseño es de 800 Litros/seg, sin embargo, tiene limitación por la excesiva carga orgánica que llega a la planta; actualmente trata 400 l/s.

En el agua residual existen diferentes organismos indicadores de contaminación, por ejemplo, en cantidades muy pequeñas se pueden encontrar a organismos patógenos como *Vibrio*, *Mycobacterium*, *Clostridium*, entre otros, lo cual hace difícil su aislamiento e identificación; por ello se emplea los coliformes como indicadores, debido a que son más numerosos en este tipo de agua y por tanto fáciles de identificar. Por ello, se puede considerar que la presencia de coliformes puede ser un indicador de la posible presencia de organismos patógenos, y la ausencia de estos de que el agua está libre de organismos que puedan causar enfermedades (López & Herrera, 2015).

Una de las herramientas utilizada para medir la calidad del agua es la de emplear bioindicadores y entre los métodos para evaluar la calidad del agua tenemos el monitoreo biológico, el cual se basa en la utilización de comunidades biológicas como bioindicadores. Un bioindicador es la “especie o ensamble de especies que poseen requerimientos particulares con relación a uno o a un conjunto de variables físicas o químicas, tal que los cambios de presencia-ausencia, número, morfología o conducta de esa especie en particular, indiquen que las variables físicas o químicas consideradas, se encuentren cerca de sus límites de tolerancia”. Los organismos que son utilizados con mayor frecuencia como bioindicadores en ecosistemas acuáticos son las algas, plantas acuáticas, zooplancton, bacterias, peces y los macroinvertebrados, siendo éste último grupo, el más empleado (Viteri-Garcés, 2017).

Dentro del zooplancton, el Phylum Rotifera está compuesto por organismos cuya locomoción se ve comprometida dependiendo de su distribución asociada con el movimiento en la columna de agua. La importancia de los rotíferos en la comunidad zooplanctónica está relacionada a su alta reproducción y conversión de la producción primaria, utilizada por los consumidores secundarios, pudiendo llegar a producir hasta el 30% de la biomasa total del plancton; de acuerdo a Andreoli & Aries (2005) citados por Oliveira, Silva & Terra Nova (2015). De acuerdo a Zoppi y Pardo (2013), los rotíferos son importantes indicadores de los cambios en la calidad del agua, y recomiendan incluir el inventario de los rotíferos en los estudios de impacto ambiental.

Este trabajo tiene por objeto determinar la diversidad de los rotíferos presentes en la PTAR-SJM, así como caracterizarlos taxonómicamente y evaluar su densidad, a fin de establecerlos como bioindicadores de la calidad de agua.

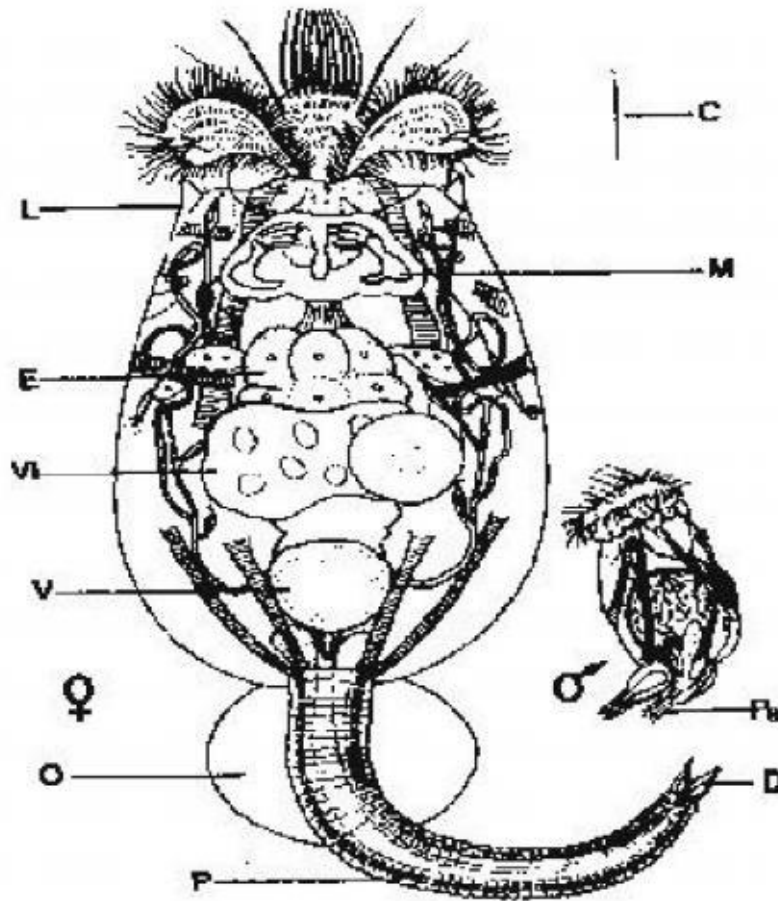
## **II. MARCO TEÓRICO**

---

### **II.1. GENERALIDADES DE LOS ROTÍFEROS**

#### **1. Biología General de los Rotíferos**

El Phylum Rotífera agrupa invertebrados microscópicos, pseudocelomados, no segmentados y de simetría bilateral que viven en ambientes acuáticos o semi-acuáticos (Romero, 2008). Algunas especies son sedentarios y coloniales, pero en su mayoría son nadadores (Rosales, 2012). Presentan tres características anatómicas particulares: la corona, el mástax y la lórica. La corona, es una región anterior ciliada, utilizada para locomoción, y está frecuentemente compuesta por dos bandas concéntricas ciliadas llamadas trocus y cíngulo, que al girar dan la impresión de ser ruedas, por lo que, los primeros microscopistas dieron el nombre al Phylum (Rota, rueda y ferre, cargar o poseer). La faringe muscular (mástax), posee un juego complejo de mandíbulas duras (Trofi), esta es una característica que los diferencia de protozoarios ciliados, gastrotriquios y larvas trocóforas, ya que estos organismos no poseen trofi. Finalmente, la lórica, es la pared del cuerpo o integumento, el cual es sincitial, la pared del cuerpo esta embebida de una capa de filamentos proteínicos y dependiendo del número de estos, la pared puede ser muy endurecida (Fig. 1) (Romero, 2008).



**Fuente: Romero (2008.)**

**Fig. 1.** Anatomía de *Brachionus plicatilis* hembra y macho. C, corona de cilios; L, lórica; E, estómago; M, mástax; Vi, ovario; V, vejiga urinaria; O, huevo; P, pie; D, dedos o apéndices adherentes; Pe, pene.

## **2. Factores que alteran el desarrollo de rotíferos en agua: salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, pH, amoníaco y presencia de microorganismos**

De acuerdo al Protocolo de Rotíferos del Centro Regional de Investigación Pesquera (CRIP) de México (2013); los rotíferos presentan las siguientes condiciones para su desarrollo en cultivo: (A) Salinidad, el rango de tolerancia de los rotíferos a la salinidad oscila entre 1 y 97g/l siendo óptimo

entre 4 y 35g/l; (B) Temperatura, el rango óptimo de temperatura varía de acuerdo a factores específicos e intraespecíficos como especie o cepa. Los rotíferos del morfotipo más grande en el caso de *Brachionus*, crecen mejor cuando la temperatura del agua está entre 18 y 25°C mientras que los del morfotipo pequeño crecen mejor entre 28 y 35°C; (C) Oxígeno disuelto, está reportado que los rotíferos pueden sobrevivir en aguas con niveles de oxígeno tan bajos como 2 ppm; (D) pH, en el medio natural los rotíferos pueden vivir a niveles de pH inferiores a 6.6, mientras que el rango óptimo de producción (en cultivo) ha sido establecido entre 6.6 y 8.0; (E) Amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), en el agua los niveles de amonio no ionizado están en equilibrio con el ionizado ( $\text{NH}_4^+$ ) en una relación  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$  que es afectada por la temperatura y el pH del agua. Altos niveles de  $\text{NH}_3$  son tóxicos para los rotíferos por lo que lo óptimo es que no superen 1 ppm de concentración; (F) Presencia de microorganismos, algunos como es el caso de *Pseudomonas* sp. producen vitamina B12, necesaria para la reproducción de los rotíferos; otros son oportunistas que deterioran la calidad del agua y aparecen indicando exceso de materia orgánica (ciliados *Euplotes* y *Uronema*), también existen patógenos como las bacterias *Vibrio* spp y los hongos *Aspergillus* que producen una disminución drástica de la población de rotíferos.

### 3. Reproducción

Este phylum tiene las tasas reproductivas más altas entre los metazoarios, por tanto pueden poblar rápidamente nichos vacantes, llegando a integrar hasta el 30% de la biomasa del plancton (Romero, 2008).

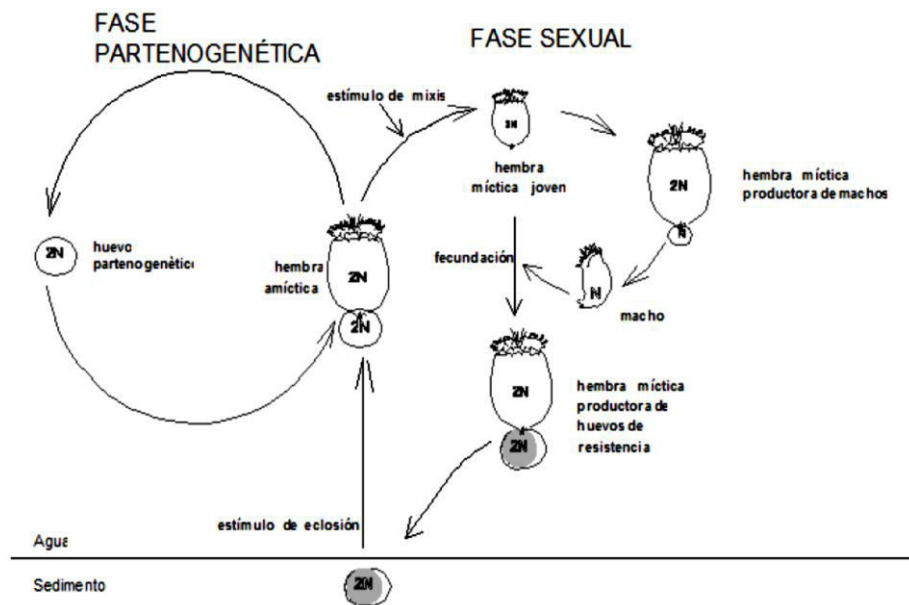
Los rotíferos se caracterizan por que en su mayoría son hembras. Esto se debe a que los machos solo se presentan en periodos muy cortos, e incluso hay especies en las que nunca se les han observado. El incremento poblacional se da por partenogénesis diploide, momento en el cual las hembras diploides producen huevos diploides conocidos como huevos amícticos (Rosales, 2012).

Los rotíferos tienen una gran ventaja dentro del nicho ecológico, esta es su adaptación reproductiva. Presentan reproducción tanto sexual como por partenogénesis (Fig. 2), a este ciclo de vida se le conoce como partenogenética cíclica y depende de las condiciones ambientales y alimenticias. La fase de vida partenogenética es la que predomina en la naturaleza, mientras que la reproducción sexual ocurre en respuesta a ciertas condiciones ambientales (como temperatura y salinidad), también debido al incremento en la población y a cambios en la cantidad y calidad de alimento. La fase sexual implica la aparición de machos y es por un periodo breve. Los rotíferos monogonontos (como el género *Brachionus*) producen 2 tipos de huevos: un huevo amíctico diploide que se convierte por partenogénesis en una hembra amíctica, y un segundo tipo llamado huevo míctico que es haploide y de no ocurrir la fecundación, producen machos haploides por partenogénesis, pero estos huevos mícticos al ser fecundados, en lugar de producir machos, secretan cascarones gruesos y resistentes formando huevos que se denominan huevos latentes o “quistes” (Fig. 2), que son capaces de soportar la deshidratación y



otras condiciones adversas, no eclosionan durante varios meses o incluso años (Romero, 2008).

El lapso de vida de los rotíferos así como su actividad reproductiva dependen de la temperatura, a 25° C el período de vida se ha estimado en 3.4 a 4.4 días. Los rotíferos llegan a ser adultos aproximadamente después de 0.5 a 1.5 días, por ello las hembras inician la puesta de huevos aproximadamente cada cuatro horas. Se cree que las hembras pueden producir diez generaciones de progenie antes de su muerte (Maldonado et al., 2013).



Fuente: Rosales (2012)

Fig. 2. Ciclo biológico del rotífero *Brachionus plicatilis*

#### 4. Clasificación Taxonómica

De acuerdo al trabajo original de Segers (2002):

**Phylum:** Rotifera

**Clase:** Monogononta

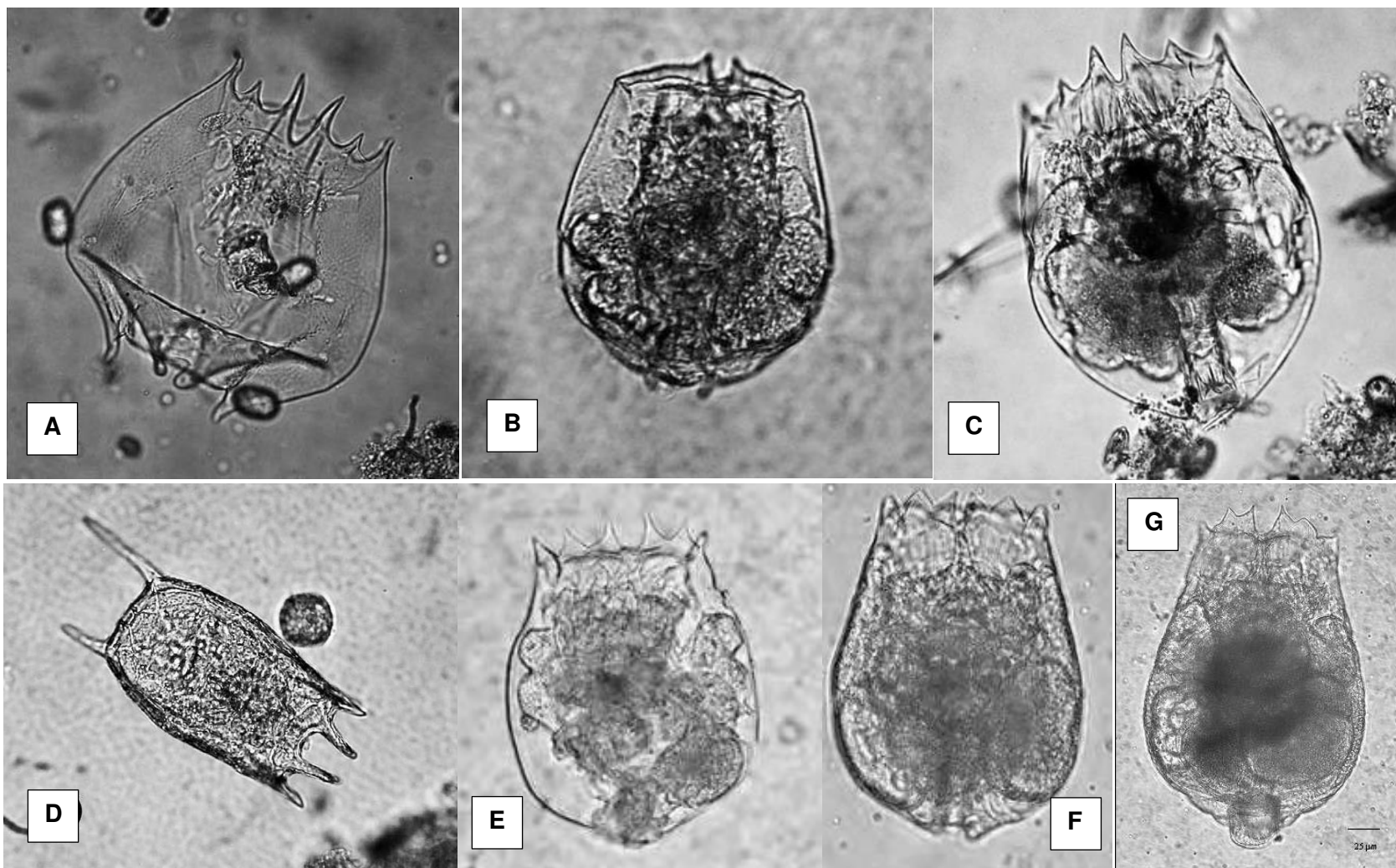
**Orden:** Ploima

**Familia:** Brachionidae

En la tabla 1 se presenta la descripción de diferentes especies del género *Brachionus* y *Keratella* y en la figura 3 la caracterización morfológica de los rotíferos identificados en este trabajo de acuerdo a Romero (2008) y Toscano & Severino (2013).

**Tabla 1.** Características morfológicas de 06 especies del género *Brachionus* y 01 especie del género *Keratella*. Información recopilada de Romero (2008) y Toscano & Severino (2013).

Genero	Características	
	Lugar de recolección	Patrón de espinas antero dorsales
<i>Brachionus plicatilis</i>	Recolectado a nivel superficial	3 pares de espinas muy similares en longitud, las espinas internas y externas triangulares con una base ancha, espina media de forma triangular, pero con margen exterior sigmoidal (Romero, 2008).
<i>Brachionus ibericus</i>	Recolectado a nivel superficial y a profundidad	3 pares de espinas que son similares en longitud, la espina media tiene una forma de triángulo equilátero (Romero, 2008).
<i>Brachionus rotundiformis</i>	Recolectado a nivel superficial	Tres pares de espinas triangulares, puntiagudas; la espina media más corta que las otras (Romero, 2008).
<i>Brachionus quadridentatus</i>	Recolectado a nivel superficial.	Seis espinas, espinas medianas generalmente más largas, curvadas, granuladas o aserradas (Toscano & Severino, 2013).
<i>Brachionus angularis</i>	Recolectado a nivel superficial y a profundidad.	Placa dorsal con un fuerte o muy débil patrón de crestas. Dos espinas medianas cortas antero-dorsales; espinas intermedias y laterales ausentes o fuertemente reducidas, espinas posteriores ausentes (Toscano & Severino, 2013).
<i>Brachionus urceolaris</i>	A nivel superficial.	Seis espinas puntiagudas son visibles. Las medianas son más largas que las laterales (Toscano & Severino, 2013).
<i>Keratella tropica</i>	Recolectado en profundidad.	Tiene dos espinas posteriores en la lorica ornamentada, de las cuales la espina izquierda es más corta que la derecha (Toscano & Severino, 2013).



**Fig. 3.** (A) *Brachionus quadridentatus*. Vista dorsal. Aumento 40X; (B) *Brachionus angularis*. Vista ventral. Aumento 40X. (C) *Brachionus urceolaris* Vista dorsal. Aumento 40X; (D) *Keratella tropica* Vista dorsal. Aumento 40X (Fuente: Toscano y Severino; 2013); (E) *Brachionus rotundiformis*. Aumento 40X; (F) *Brachionus plicatilis*. Aumento 40X; (G) *Brachionus ibericus*. Aumento 40X (Fuente: Romero, 2008 y Toscano & Severino, 2013)

## **II. 2. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE SAN JUAN DE MIRAFLORES (PTAR-SJM)**

### **1. Generalidades**

Forma parte del Proyecto San Bartolo financiado por el Gobierno de Japón, reemplaza a las antiguas Lagunas de Oxidación de San Juan, posee un caudal de diseño de 800 Litros/seg, sin embargo, tiene limitación por la excesiva carga orgánica que llega a la planta; actualmente trata 400 Litros/seg, de acuerdo a información del personal de SEDAPAL. El tipo de desagüe que llega es doméstico y el sistema de tratamiento que se realiza es de lagunas aireadas. El efluente es destinado para el riego de áreas verdes y los desechos obtenidos del proceso son enviados a un relleno sanitario de la ciudad.

### **2. Descripción del proceso y planta**

Está compuesto por 03 sistemas, que comprenden el Pretratamiento, Tratamiento Biológico y Desinfección (Fig. 4); a continuación, se presentan con mayor detalle los componentes totales de la planta, descrito por Espinoza (2010):

- a) Rejillas mecánicas medias: Tienen por función la limpieza mecánica del agua, reteniendo residuos de 15.0 mm de diámetro.
- b) Desarenador gravimétrico longitudinal: Separa partículas de 90.20 mm de diámetro.
- c) Lagunas aireadas: Sistema en serie, conformadas primero por lagunas de mezcla completa y posteriormente lagunas de mezcla parcial. Aquí pasa por un proceso de turbulencia en el cual los sólidos son mantenidos

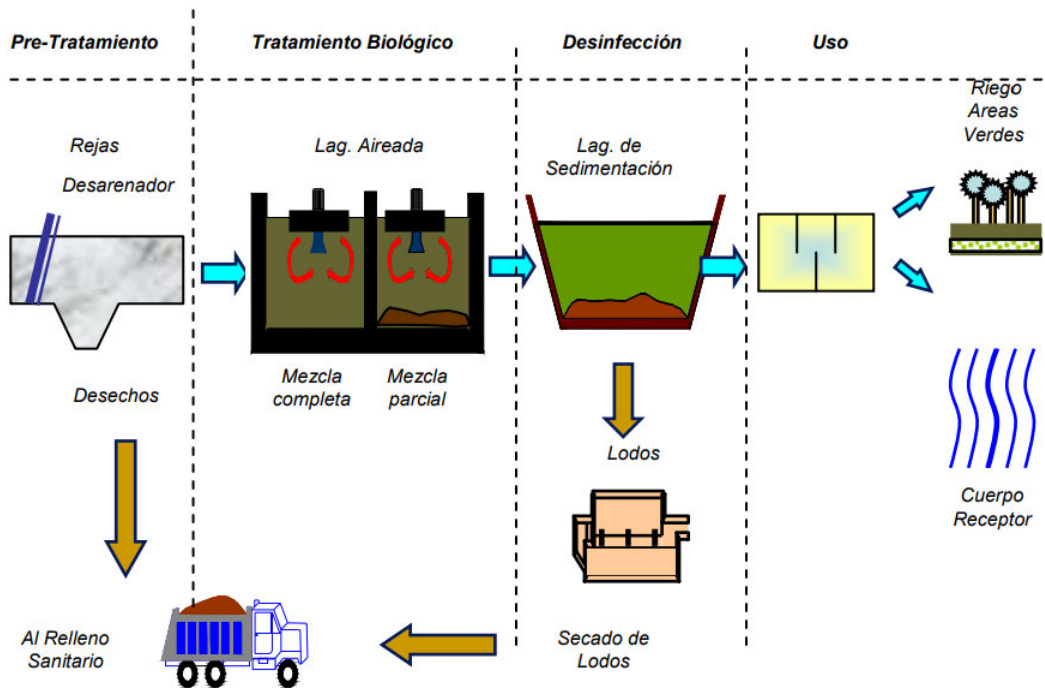
en suspensión o en el caso de lagunas de mezcla parcial sedimentan parcialmente.

- d) Lagunas de sedimentación: Lugar donde se disponen los lodos provenientes las lagunas aireadas y que serán posteriormente eliminados en la fase final del sistema.
- e) Lagunas de maduración o pulimento: Son las lagunas facultativas que reciben el efluente tratado de una laguna secundaria o de una laguna de sedimentación. Este tipo de laguna es empleada para la remoción de parásitos, helminto y coliformes. La calidad del efluente de estas lagunas, está determinada por las condiciones climáticas (sobretudo temperatura y la luz solar), es decir su calidad final cambia si estas condiciones cambian también. La clave de este proceso es la adecuada producción de oxígeno por la fotosíntesis de las algas y la reaireación superficial, ya que este es utilizado por las bacterias aeróbicas para estabilizar la materia orgánica en las capas superficiales.

Por tanto, los objetivos principales de estas lagunas son:

- Presentar las condiciones adecuadas de balance de oxígeno, como para sustentar una adecuada biomasa de algas unicelulares en la parte superior de la laguna.
  - Presentar las condiciones adecuadas de mortalidad bacteriana.
  - Asegurar una adecuada remoción de nemátodos intestinales.
  - Asegurar una adecuada remoción de la demanda biológica de oxígeno (DBO).
- f) Desinfección con cloro gas: Método de desinfección empleado por SEDAPAL que tiene adaptado este proceso para su sistema de agua.

- g) Lechos de secado de lodos: Permite la remoción del lodo sedimentado en las lagunas aireadas a mezcla parcial, lagunas de sedimentación y lagunas de maduración.



**Fuente: SEDAPAL**

**Fig. 4.** Distribución de los sistemas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Juan de Miraflores (PTAR-SJM)

### **III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**

---

#### **3.1. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

##### **3.1.1 Hipótesis Investigación:**

Existen poblaciones de rotíferos en la zona baja de la PTAR-SJM, que pueden ser considerados como bioindicadores en futuras investigaciones con respecto al estudio de la calidad del agua.

#### **3.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **3.2.1. Objetivo General:**

Identificar especies de rotíferos que puedan ser utilizados como bioindicadores en la evaluación de la calidad de ambiental en la PTAR-SJM.

##### **3.2.2. Objetivos Específicos:**

- Caracterizar taxonómicamente a los rotíferos presentes en la PTAR-SJM.
- Determinar la densidad de los rotíferos presentes en la PTAR-SJM.

## **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

---

### **4.1. Descripción del lugar de recolección**

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Juan de Miraflores, lugar de estudio de esta tesis, se encuentra ubicada en la Av. Pedro Miotta s/n entre la Empresa de Transmisión Eléctrica Centro Norte S.A (ETECEN) y el Parque Zonal Huayna Cápac en el Distrito de San Juan Miraflores (Fig. 5). Los puntos de muestreo fueron 02: Entrada de Sedimento y Entrada de Pulimento (Fig. 6).

### **4.2. Método de colecta y transporte de la muestra**

La colecta se realizó sumergiendo botellas de medio litro en el agua en cada uno de los puntos de muestreo, de acuerdo al protocolo indicado por el personal técnico de SEDAPAL para recolectar muestras de agua en estos puntos de la planta. Se realizó con frecuencia bimensual, en los meses de Diciembre (2017), Marzo y Junio (2018); realizándose un total de 22 muestreos colectando en cada uno de estos 02 muestras en la entrada de la Laguna de Sedimento, la primera a las 10:00 horas y la segunda a las 13:00



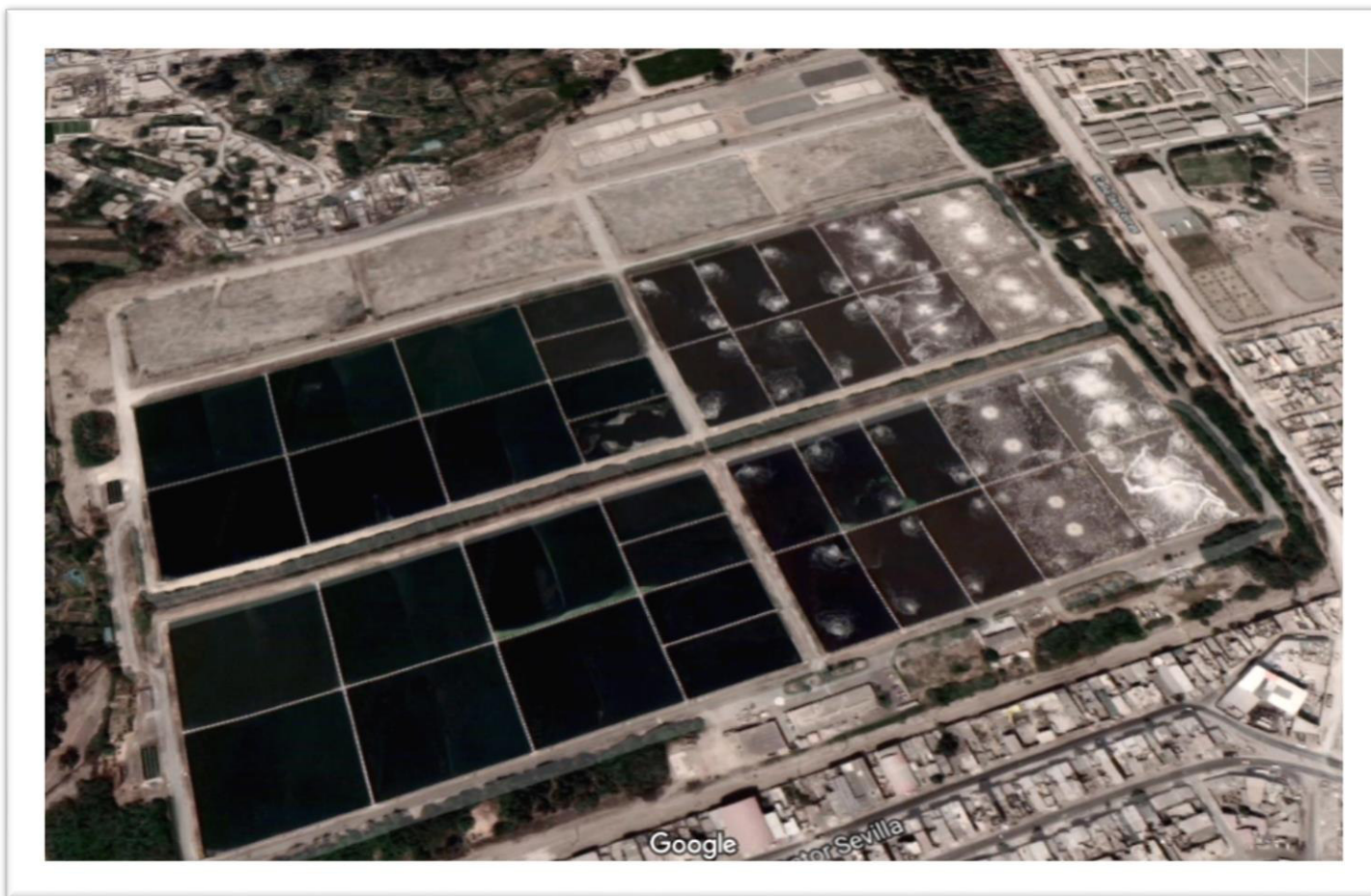
horas (ya que son las horas de alto caudal en la planta); de la misma forma se realizó en la entrada de la Laguna de Pulimento, evaluándose un total de 88 muestras (Tabla 2). Las muestras fueron transportadas en botellas de 500 ml selladas herméticamente, al interior de un cooler, hasta el Laboratorio de Ciencias Básica de la empresa SOLUCION E INNOVACION BIOLOGICA S.A.C., donde se realizaron los respectivos análisis.

**Tabla 2.** Descripción del diseño experimental

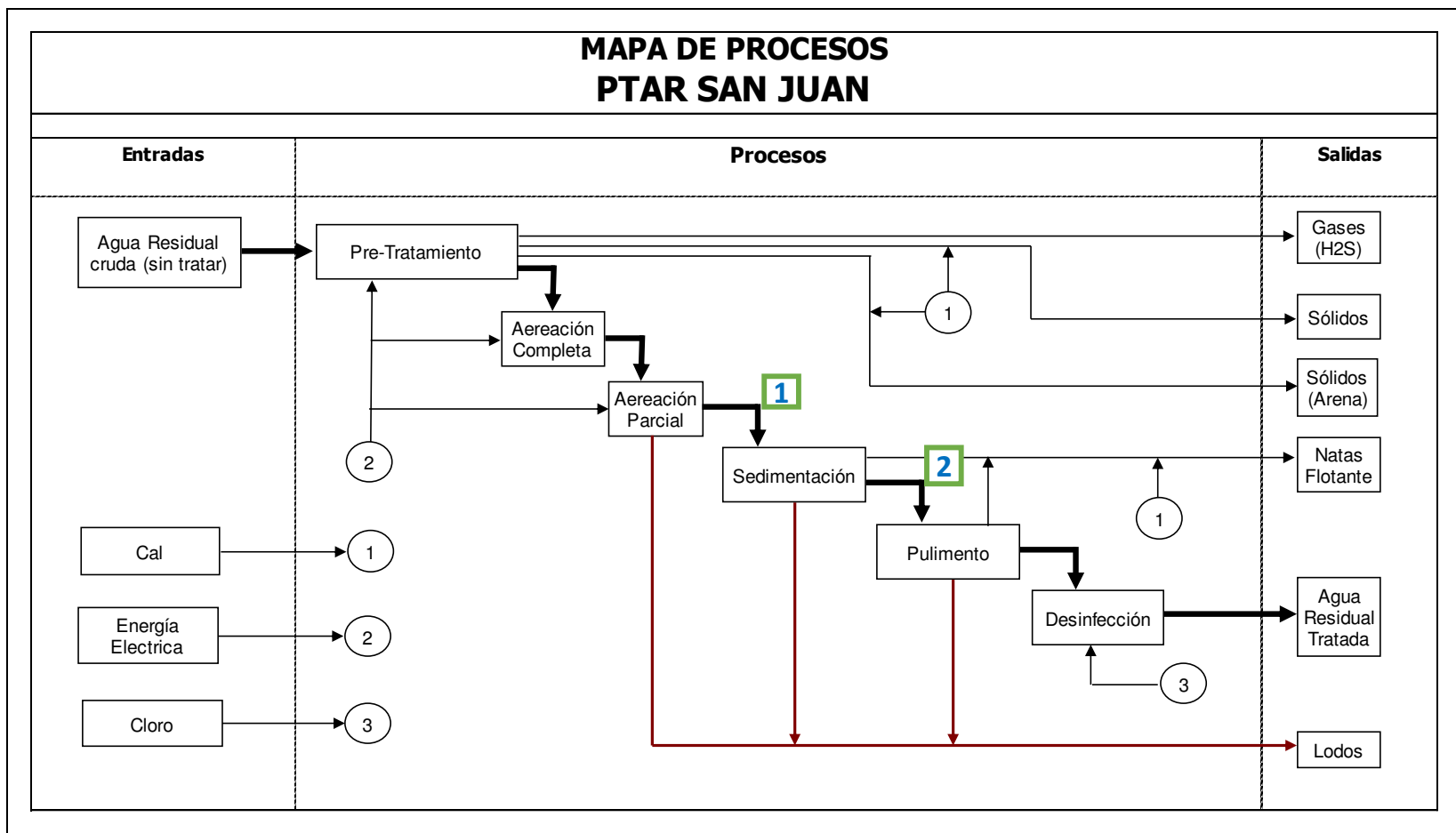
Lugar de muestreo	Entrada de la Lagunas de Sedimento		Entrada de la Laguna de Pulimento	
Hora de muestreo	10:00 horas	13:00 horas	10:00 horas	13:00 horas
Grupo de muestra	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>
Total de muestras colectadas en el estudio	88 muestras			

#### 4.3. Análisis fisicoquímico del agua

Se evaluaron 03 parámetros fisicoquímicos: pH, oxígeno disuelto (OD) y temperatura, empleado un conductímetro portátil Profiline Cond 3310 – WTW, proporcionado por personal de la PTAR-SJM, la evaluación fue realizada en la superficie de los cuerpos de agua en los puntos de muestreo, por un técnico calificado de la planta (Fig. 7).



**Fig. 5.** Vista satelital de la PTAR-SJM (Google Maps)



**Fuente: SEDAPAL**

**Fig. 6.** Mapa de procesos de la PTAR San Juan de Miraflores, donde se indican las 02 zonas de muestreo (1) Entrada de Sedimento y (2) Entrada de Pulimento.



**Fig. 7.** El registro de parámetros fisicoquímicos en la superficie del cuerpo de agua, de acuerdo al protocolo ya establecido de la PTAR-SJM.

#### **4.4. Caracterización Morfológica**

Se realizó la caracterización morfológica de las 88 muestras colectadas, evaluando 10 repeticiones de cada muestra. Se colocó 1 ml de cada repetición en una placa Petri de plástico de 7mm, esta fue visualizada en un

microscopio invertido Leica DMI3000 B, para verificar la presencia de rotíferos.

Se identificaron las especies de rotíferos cualitativamente, teniendo como referencia la caracterización morfológica realizada por Romero (2008), Ciro-Pérez, Gómez y Serra (2001) y Toscano & Severino (2013).

Para seleccionar y separar los rotíferos, se adaptó la técnica de De Martino et al. (2017), quienes estiraron manualmente pipetas Pasteur con ayuda del calor de un mechero, considerando el diámetro de la punta de las pipetas estiradas viable para el paso de los rotíferos, en nuestro caso. Se procedió a succionar manualmente a través de una manguera de jebe conectada a la pipeta estirada, los rotíferos identificados; se seleccionaron y fueron separados en tubos eppendorf de 1.5 ml debidamente rotuladas de acuerdo a la especie.

Se registró el número de rotíferos por especie de las 880 repeticiones evaluadas, para posteriormente determinar la densidad.

#### **4.5. Evaluación de la densidad**

Se utilizó la fórmula original citada por Cisneros (2011), con la modificación a número de individuos por 10 ml, correspondiente a las 10 repeticiones evaluadas:

$$\text{Densidad} = \text{Individuos} \times 10 \text{ ml}^{-1}$$

Haciendo uso de los datos del número de especies de rotíferos, registrados anteriormente, se logró determinar la densidad de cada una de las muestras evaluadas.

#### **4.6. Análisis estadístico**

Se realizó la prueba estadística ANOVA (nivel de significancia 0.05), verificando la normalidad de los datos mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk; tanto para los parámetros fisicoquímicos como para el análisis de las densidades de rotíferos evaluadas en cada muestra.

## V. RESULTADOS

---

### 5.1. **Determinación de los parámetros fisicoquímicos de la entrada de sedimento**

Se obtuvieron los datos de pH, OD y temperatura en los dos horarios de muestreo: 10 horas y 13 horas.

Durante el primer horario de muestreo (10 horas), el pH fue registrado en junio (2018) con un valor de 7.1, y el valor máximo de 7.9 en diciembre (2017). El OD fue registrado en junio (2018) con un valor mínimo de 0.24 mg/L, y el valor máximo de 4.58 mg/L en diciembre (2017). La temperatura fue registrada en junio (2018) con un valor de 18.4 °C, y la máxima en marzo (2018) con un valor de 28.3 °C (Tabla 3).

Durante el segundo horario de muestreo (13 horas), el pH fue registrado en marzo y junio (2018) con un valor de 7.2, y el valor máximo de 7.6 en diciembre (2017). El OD fue registrado en junio (2018) con un valor mínimo de 0.18 mg/L, y el valor máximo de 4.20 mg/L en diciembre (2017). La

temperatura fue registrada en junio (2018) con un valor de 19.2 °C, y la máxima en marzo (2018) con un valor de 28.4 °C (Tabla 4).



**Tabla 3.** Valores de los parámetros fisicoquímicos (pH, oxígeno disuelto y temperatura) evaluados en la Entrada de Sedimento durante el 1er, 2do y 3er monitoreo: Diciembre, 2017; Marzo, 2018 y Junio, 2018 (Hora de muestreo: 10 horas)

PRIMER MUESTREO: Diciembre, 2017 (10 horas)								
FECHA DE MUESTREO	1/12/2017	4/12/2017	11/12/2017	15/12/2017	18/12/2017	22/12/2017	29/12/2017	
pH	7.37	7.42	7.47	7.9	7.6	7.4	7.3	
OD (mg/L)	2.91	2.76	4.58	1.57	4.49	3.72	3.01	
T° (°C)	24.0	24.1	23.4	24.7	23.8	25.2	24.8	
SEGUNDO MUESTREO: Marzo, 2018 (10 horas)								
FECHA DE MUESTREO	2/03/2018	5/03/2018	9/03/2018	12/03/2018	16/03/2018	19/03/2018	23/03/2018	26/03/2018
pH	7.4	7.3	7.2	7.3	7.2	7.3	7.3	7.3
OD (mg/L)	1.2	1.39	2.28	2.24	2.20	1.8	1.88	2.75
T° (°C)	26.5	27.3	28.3	27.1	27.5	27.5	27.6	27.5
TERCER MUESTREO: Junio, 2018 (10 horas)								
FECHA DE MUESTREO	1/06/2018	8/06/2018	11/06/2018	15/06/2018	18/06/2018	22/06/2018	25/06/2018	
pH	7.2	7.1	7.2	7.3	7.4	7.4	7.5	
OD (mg/L)	0.8	1.49	2.3	0.4	0.38	0.35	0.24	
T° (°C )	20.7	20.4	19.6	20.2	18.4	18.9	19.3	

**Tabla 4.** Valores de los parámetros fisicoquímicos (pH, oxígeno disuelto y temperatura) evaluados en la Entrada de Sedimento durante el 1er, 2do y 3er monitoreo: Diciembre, 2017; Marzo, 2018 y Junio, 2018 (Hora de muestreo: 13 horas)

PRIMER MUESTREO: Diciembre, 2017 (13 horas)								
FECHA DE MUESTREO	1/12/2017	4/12/2017	11/12/2017	15/12/2017	18/12/2017	22/12/2017	29/12/2017	
pH	7.43	7.38	7.45	7.4	7.6	7.4	7.3	
OD (mg/L)	3.07	1.28	4.20	1.91	4.07	3.59	1.38	
T° (°C)	24.4	24.8	23.7	25.0	24.9	25.4	24.7	
SEGUNDO MUESTREO: Marzo, 2018 (13 horas)								
FECHA DE MUESTREO	2/03/2018	5/03/2018	9/03/2018	12/03/2018	16/03/2018	19/03/2018	23/03/2018	26/03/2018
pH	7.3	7.2	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
OD (mg/L)	1.15	1.16	2.38	1.82	1.8	1.63	1.92	2.52
T° (°C)	27.5	27.9	28.4	27.6	28.3	28.1	27.8	28.2
TERCER MUESTREO: Junio, 2018 (13 horas)								
FECHA DE MUESTREO	1/06/2018	8/06/2018	11/06/2018	15/06/2018	18/06/2018	22/06/2018	25/06/2018	
pH	7.2	7.2	7.3	7.3	7.4	7.5	7.6	
OD (mg/L)	0.18	1.52	2.8	0.6	1.52	0.7	0.8	
T° (°C)	20.8	28.2	20.2	22	19.4	19.2	19.8	

## **5.2. Determinación de los parámetros fisicoquímicos de la entrada de pulimento**

Se obtuvieron los datos de pH, OD y temperatura en los dos horarios de muestreo: 10 horas y 13 horas.

Durante el primer horario de muestreo (10 horas), el pH fue registrado en junio (2018) con un valor de 7.2, y el valor máximo de 8.02 en diciembre (2017). El OD fue registrado en junio (2018) con un valor mínimo de 0.03 mg/L, y el valor máximo de 4.78 mg/L en diciembre (2017). La temperatura fue registrada en junio (2018) con un valor mínimo de 17.3 °C, y la máxima de 28.1 °C en marzo (2018) (Tabla 5).

Durante el segundo horario de muestreo (13 horas), el pH fue registrado en junio (2018) con un valor de 7.3, y el valor máximo de 8 en diciembre (2017). El OD fue registrado en junio (2018) con un valor mínimo de 0.16 mg/L, y el valor máximo de 6.12 mg/L en diciembre (2017). La temperatura fue registrada en junio (2018) con un valor mínimo de 18.8 °C, y la máxima de 29 °C en marzo (2018) (Tabla 6).

**Tabla 5.** Valores de los parámetros fisicoquímicos (pH, oxígeno disuelto y temperatura) evaluados en la Entrada de Pulimento durante el 1er, 2do y 3er monitoreo: Diciembre, 2017; Marzo, 2018 y Junio, 2018 (Hora de muestreo: 10 horas)

PRIMER MUESTREO: Diciembre, 2017 (10 horas)								
FECHA DE MUESTREO	1/12/2017	4/12/2017	11/12/2017	15/12/2017	18/12/2017	22/12/2017	29/12/2017	
pH	7.47	7.52	7.54	7.6	8.02	7.5	7.4	
OD (mg/L)	4.78	2.33	1.48	2.55	0.76	4.51	0.39	
T° (°C)	24.2	23.8	23.2	24.3	23.4	24.9	24.6	
SEGUNDO MUESTREO: Marzo, 2018 (10 horas)								
FECHA DE MUESTREO	2/03/2018	5/03/2018	9/03/2018	12/03/2018	16/03/2018	19/03/2018	23/03/2018	26/03/2018
pH	7.5	7.3	7.4	7.4	7.5	7.6	7.5	7.5
OD (mg/L)	1.8	0.20	2.98	0.29	1.05	0.99	1.10	2.26
T° (°C)	26	27.1	28.1	26.9	27.4	27.4	27.5	27.6
TERCER MUESTREO: Junio, 2018 (10 horas)								
FECHA DE MUESTREO	1/06/2018	8/06/2018	11/06/2018	15/06/2018	18/06/2018	22/06/2018	25/06/2018	
pH	7.4	7.2	7.28	7.4	7.5	7.6	7.7	
OD (mg/L)	0.22	0.24	1.8	0.2	0.19	0.18	0.03	
T° (°C)	20.4	20	18.4	19.6	17.3	17.6	18.7	

**Tabla 6.** Valores de los parámetros fisicoquímicos (pH, oxígeno disuelto y temperatura) evaluados en la Entrada de Pulimento durante el 1er, 2do y 3er monitoreo: Diciembre, 2017; Marzo, 2018 y Junio, 2018 (Hora de muestreo: 13 horas)

PRIMER MUESTREO: Diciembre, 2017 (13 horas)								
FECHA DE MUESTREO	1/12/2017	4/12/2017	11/12/2017	15/12/2017	18/12/2017	22/12/2017	29/12/2017	
pH	7.5	7.57	7.52	7.7	8	7.6	7.4	
OD (mg/L)	6.12	3.12	2.25	3.78	4.24	5.38	0.82	
T° (°C)	25.0	24.3	23.3	24.4	24.7	25.1	24.9	
SEGUNDO MUESTREO: Marzo, 2018 (13 horas)								
FECHA DE MUESTREO	2/03/2018	5/03/2018	9/03/2018	12/03/2018	16/03/2018	19/03/2018	23/03/2018	26/03/2018
pH	7.4	7.5	7.5	7.6	7.6	7.5	7.4	7.5
OD (mg/L)	1.22	2.84	3.97	0.65	4.74	2.72	2.54	3.96
T° (°C)	27.7	27.8	28.7	27.2	29	28.4	28	28.6
TERCER MUESTREO: Junio, 2018 (13 horas)								
FECHA DE MUESTREO	1/06/2018	8/06/2018	11/06/2018	15/06/2018	18/06/2018	22/06/2018	25/06/2018	
pH	7.4	7.3	7.4	7.4	7.5	7.8	8	
OD (mg/L)	0.23	1.18	1.6	0.18	0.17	0.16	0.18	
T° (°C)	20.5	28.6	19.6	19.8	18.9	18.8	19.4	

### 5.3. Comparación de las condiciones ambientales de los puntos de evaluación, durante los 03 muestreos de acuerdo a los parámetros fisicoquímicos

Los valores de pH, oxígeno disuelto (OD) y temperatura de las 88 muestras evaluadas, correspondientes a los 02 puntos evaluados (Entrada de Sedimento y Entrada de Pulimento) en los 02 horarios de muestreo (10 horas y 13 horas), registrados durante los 03 periodos de muestreo, fueron promediados, los datos fueron consignados en las Tablas 7, 8 y 9 y sometidos a la prueba estadística ANOVA (nivel de significancia 0.05), evaluando la normalidad de los datos mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk.

De acuerdo al Centro Regional de Investigación Pesquera de México (2013), en el medio natural los rotíferos pueden vivir a niveles de pH inferiores a 6.6, siendo el rango óptimo de producción (en cultivo) establecido entre 6.6 y 8.0. La media total de pH registrada en esta investigación tuvo un valor de 7.44, lo cual permite la presencia de rotíferos en los cuerpos de agua de la PTAR-SJM (Tabla 7).

**Tabla 7.** Promedio de pH de las 88 muestras de agua colectada en la Entrada de Sedimento a las 10 horas (S1) y 13 horas (S2) y Entrada de Pulimento a las 10 horas (P1) y 13 horas (P2)

MUESTRA	Diciembre, 2017	Marzo, 2018	Junio, 2018
S1	7.49	7.29	7.30
S2	7.42	7.29	7.36
P1	7.58	7.46	7.44
P2	7.61	7.50	7.54

De acuerdo al Centro Regional de Investigación Pesquera de México (2013), en el medio natural los rotíferos pueden sobrevivir en aguas con niveles de oxígeno tan bajos como 2 ppm (0.002 mg/L). La media total de OD registrada en esta investigación tuvo un valor de 1.92 mg/L, lo cual permite la presencia de rotíferos en los cuerpos de agua de la PTAR-SJM (Tabla 8).

**Tabla 8.** Promedio de Oxígeno Disuelto (OD) (mg/L) de las 88 muestras de agua colectadas en la Entrada de Sedimento a las 10 horas (S1) y 13 horas (S2) y Entrada de Pulimento a las 10 horas (P1) y 13 horas (P2).

MUESTRA	Diciembre, 2017	Marzo, 2018	Junio, 2018
S1	3.29	1.97	0.85
S2	2.79	1.80	1.16
P1	2.40	1.33	0.41
P2	3.67	2.83	0.53

De acuerdo al Centro Regional de Investigación Pesquera de México (2013), el rango óptimo de temperatura varía de acuerdo a factores específicos e intraespecíficos como especie o cepa. Por ejemplo, Rosales (2012) indica que las diferentes especies de rotíferos pueden desarrollarse en temperaturas que van desde los 0.6 °C hasta los 35 °C. La media total de temperatura registrada en esta investigación tuvo un valor de 24.0892 °C, lo cual permite la presencia de rotíferos en los cuerpos de agua de la PTAR-SJM (Tabla 9).

**Tabla 9.** Promedio de Temperatura (°C) de las 88 muestras de agua colectadas en la Entrada de Sedimento a las 10 horas (S1) y 13 horas (S2) y Entrada de Pulimento a las 10 horas (P1) y 13 horas (P2)

MUESTRA	Diciembre, 2017	Marzo, 2018	Junio, 2018
S1	24.29	27.41	19.64
S2	24.70	27.98	21.37
P1	24.06	27.25	18.86
P2	24.53	28.18	20.80

De acuerdo al ANOVA realizado, no hay diferencias significativas entre los meses de monitoreos con respecto al pH. En cuanto a las variables OD y temperaturas, si existen diferencias significativas entre los 03 monitoreos en ambos casos (Tabla 10).

**Tabla 10.** Valores de F y p para los parámetros evaluados (pH, OD y temperatura) de acuerdo al análisis estadístico ANOVA (nivel de significancia: 0.05)

Parámetros	F	p
pH	2.18628	0.168317
OD	19.47348	0.000538
Temperatura	110.18147	0.00001

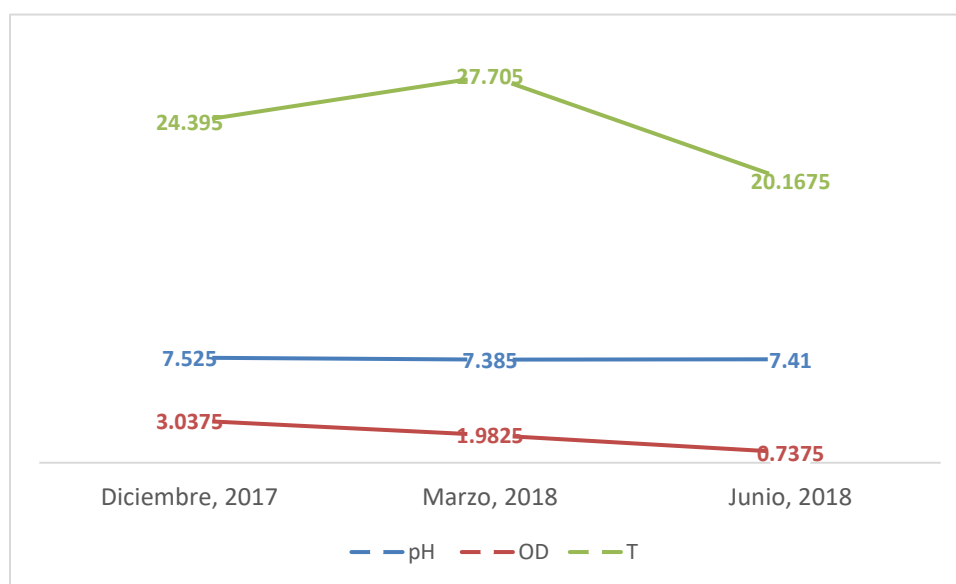
Sin embargo a pesar de existir diferencias significativas entre los 03 monitoreos en OD y Temperatura, sus medias se encuentran dentro de los rangos permisibles para el desarrollo de rotíferos en los cuerpos de agua de la PTAR-SJM, por tanto la toma de muestras para posteriores investigaciones podrá realizarse durante todo el año, sin riesgo que esto afecte el valor del indicador de rotíferos que se desea establecer; no



obstante, se recomienda evaluar dicho indicador entre los meses de diciembre y marzo, debido a que presenta las condiciones ambientales óptimas para el desarrollo de estas especies en la PTAR-SJM (Tabla 11 y Fig. 8).

**Tabla 11.** Medias de los parámetros evaluados durante los 03 muestreos

PARÁMETROS	Diciembre, 2017	Marzo, 2018	Junio, 2018
pH	7.525	7.385	7.41
OD	3.0375	1.9825	0.7375
T	24.395	27.705	20.1675

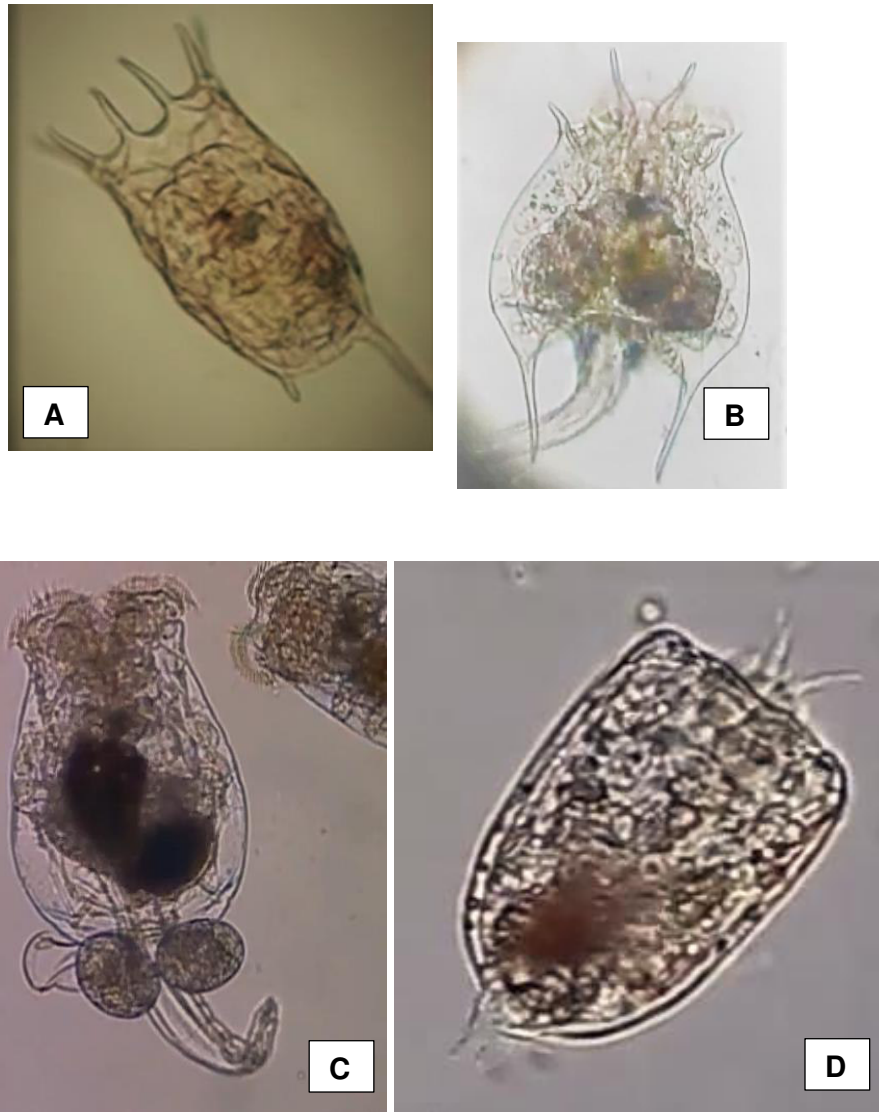


**Fig. 8.** Distribución de medias de los parámetros evaluados durante los 03 muestreos

#### 5.4. Identificación de las especies de rotíferos en los cuerpos de agua evaluados en la PTAR-SJM

Se identificó la presencia de *Keratella sp.*; *Brachionus quadridentatus*; *Brachionus plicatilis* y *Brachionus angularis* (Fig. 9); las cuales fueron

observadas a través de un microscopio óptico a un aumento de 100X. Las 88 muestras evaluadas presentaron individuos de todas estas especies, lo cual fue frecuente en ambos puntos de muestreo (Entrada de Sedimento y Entrada de Pulimento) y en los 02 horarios de colecta (10 horas y 13 horas).



**Fig. 9.** Especies de rotíferos identificadas en la PTAR-SJM: (A) *Keratella tropica*; (B) *Brachionus quadridentatus* var *mirabilis*; (C) *Brachionus plicatilis*; (D) *Brachionus angularis*

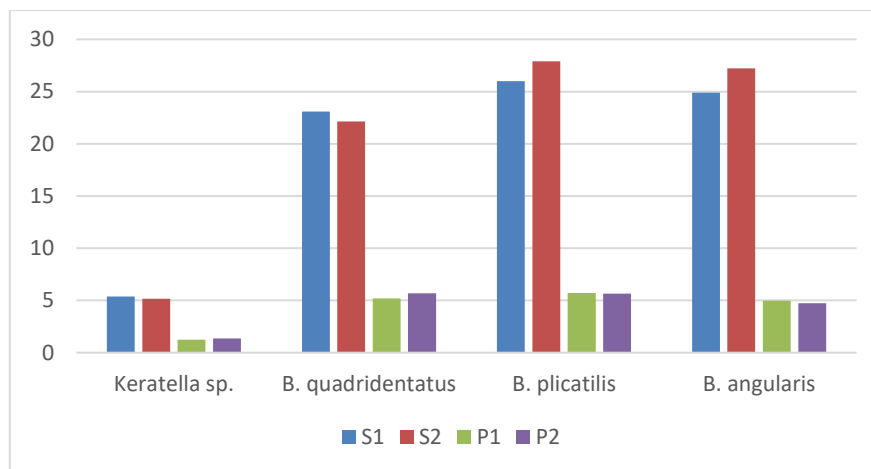
## 5.5. Determinación de la densidad de rotíferos identificados en la PTAR-SJM

La media de las densidades de los rotíferos por especie identificada para cada zona y hora de muestreo se presenta en la Tabla 12. En la Fig. 10 se puede observar el decremento de las densidades en la zona de muestreo Entrada de Pulimento, para todas las especies evaluadas, esto indica que la densidad de rotíferos en cualquiera de estas especies se ve disminuida debido a los procesos biológicos propios del sistema de la PTAR-SJM, en el paso de Sedimento a Pulimento. Por tanto, la calidad del agua en cuanto a presencia de rotíferos es mejor en esta última zona de muestreo.

**Tabla 12.** Media de las densidades (individuos/10 ml<sup>-1</sup>) de las especies de rotíferos identificadas en los 04 grupos de muestras (S1, S2, P1 y P2\*)

<i>ESPECIE</i>	<i>Keratella sp.</i>	<i>B. quadridentatus</i>	<i>B. plicatilis</i>	<i>B. angularis</i>
<b>S1</b>	5.3636	23.0909	26.00	24.8977
<b>S2</b>	5.1705	22.1477	27.8864	27.2273
<b>P1</b>	1.2273	5.2045	5.7045	4.9886
<b>P2</b>	1.3636	5.6932	5.6591	4.7273

\*Ver Tabla 2 para referencia de los grupos de muestras



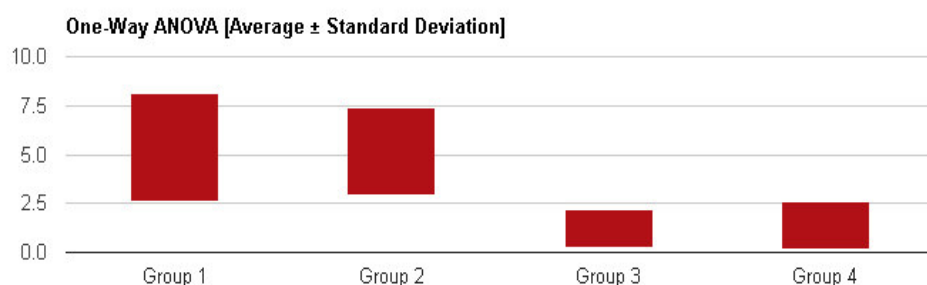
**Fig. 10.** Distribución de las densidades de los rotíferos: *Keratella sp.*; *Brachionus quadridentatus*; *Brachionus plicatilis* y *Brachionus angularis*, en los 04 grupos de muestras (S1, S2, P1 y P2\*)

De acuerdo al análisis ANOVA realizado para cada una de las especies evaluadas, si se encontraron diferencias significativas entre los 04 grupos de muestra evaluadas para cada especie (Tabla 13).

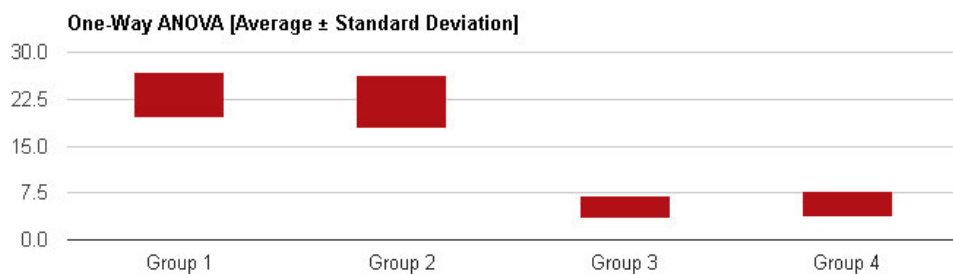
**Tabla 13.** Valores de F y p para especies de rotíferos evaluadas (*Keratella sp.*; *Brachionus quadridentatus*; *Brachionus plicatilis* y *Brachionus angularis*) de acuerdo al análisis estadístico ANOVA (nivel de significancia: 0.05)

Especie	F	p
<i>Keratella sp.</i>	123.4518	0
<i>B. quadridentatus</i>	872.1331	0
<i>B. plicatilis</i>	113.5153	0
<i>B. angularis</i>	111.5117	0

En la distribución ANOVA con respecto a *Keratella sp.* y *B. quadridentatus*, se observó que los rangos de las densidades dentro de cada zona de muestreo: Entrada de Sedimento (S1: Grupo 1; S2: Grupo 2) y Entrada de Pulimento (P1: Grupo 3; P2: Grupo 4), no sufrieron variaciones drásticas, manteniéndose la uniformidad de la muestra (Fig. 11 y 12).



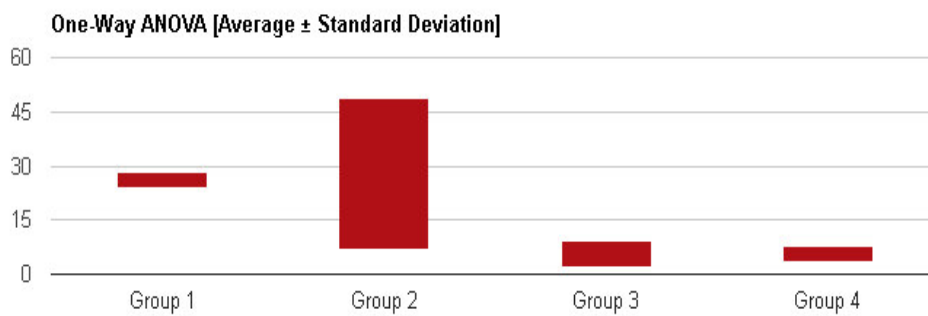
**Fig. 11** Distribución de la densidad de *Keratella sp.* (Individuos/10 ml) según ANOVA (nivel de significancia 0.05)



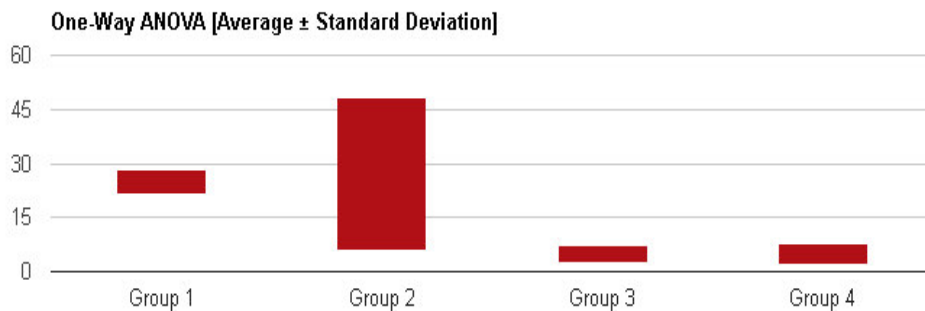
**Fig. 12** Distribución de la densidad de *B. quadridentatus* (individuos/10 ml) según ANOVA (nivel de significancia 0.05)

En la distribución ANOVA con respecto a *B. plicatilis* y *B. angularis*, se observó que los rangos de las densidades dentro de cada zona de muestreo: Entrada de Sedimento (S1: Grupo 1; S2: Grupo 2) y Entrada de Pulimento (P1: Grupo 3; P2: Grupo 4), no sufrieron variaciones drásticas, manteniéndose la uniformidad de la muestra (Fig. 11 y 12).

Grupo 4), si sufrieron variaciones drásticas, en S2; este grupo corresponde a las muestras de la Entrada de Semiento colectadas a las 13 horas. Esto significa que el número de rotíferos presentes en el cuerpo de agua durante las fechas de muestreo varió durante ese horario, es decir en algunas fechas la densidad de rotíferos de estas especies fue muy alta y en otras muy baja, lo cual puede deberse a eventos aleatorios en el afluente durante ese periodo (Fig. 13 y 14).



**Fig. 13** Distribución de la densidad de *B. plicatilis* (individuos/10ml) según ANOVA (nivel de significancia 0.05)



**Fig. 14** Distribución de la densidad de *B. angularis* (individuos/10 ml) según ANOVA (nivel de significancia 0.05)

## VI. DISCUSIÓN

---

De acuerdo a Iannacone et al. (2013), el zooplancton se ha utilizado como un indicador de calidad ambiental ya que presenta variaciones en sensibilidad o tolerancia a diversos factores abióticos, dentro de los principales grupos del zooplancton utilizados tenemos a los protozoarios, rotíferos y crustáceos.

Toscano & Severino (2013), señalan que en el Perú, se conoce poco acerca de la diversidad y distribución de los rotíferos, los primeros reportes fueron de Samanez (1988, 1991), cuyo trabajo fue acerca de la composición y morfología de los rotíferos de la Amazonía peruana, y por Samanez & Riofrio (1995). Además, señalan que a nivel del departamento de Lima se han reportado rotíferos en investigaciones de índole ecológico y prospectivo en humedales por Iannacone & Alvarino (2007) y Paredes et al. (2007), y en la albufera o laguna El Paraíso en Huacho. Por tanto, esta investigación resulta ser importante porque contribuye con información sobre la importancia de los rotíferos como indicadores de calidad del agua.

La presencia de numerosas especies del género *Brachionus*, es un aspecto general de las aguas tropicales y subtropicales (Andrade-Sossa et al., 2011). En esta investigación el 75% de rotíferos identificados correspondió al género *Brachionus* (*B. plicatilis*, *B.*

*angularis* y *B. quadridentatus*), mientras que el 25% correspondió a *Keratella sp*, esto puede explicarse debido a que dentro del phylum Rotifera, el género Brachionus incluye el 80% de las especies del phylum (Toscano & Severino, 2013).

Las 03 especies de Brachionus fueron identificadas, sin necesidad de comparar características morfométricas; ya que sus características morfológicas son marcadas para cada una de estas especies, por ello solo fue necesario realizar una comparación cualitativa utilizando las imágenes de los trabajos de Ciro-Pérez, Gómez, Serra (2001) y Toscano & Severino (2013) que se presentan en la Fig. 3.

Con respecto al análisis de los parámetros fisicoquímicos, se conoce que de acuerdo al Centro Regional de Investigación Pesquera de México (2013), los rotíferos pueden sobrevivir a niveles de pH inferiores a 6.6, pero el rango óptimo de producción (en cultivo) es entre 6.6 y 8.0; la media de pH obtenida en este trabajo fue de 7.44, es decir es un valor óptimo, sin embargo, debemos recordar que no se trata de un cuerpo de agua estacional para cultivo, sino de un flujo de agua constante que pasa a través de 02 procesos: Sedimentación y Pulimento; además, al no haber diferencias significativas según ANOVA para esta variable, se puede concluir que el pH no es un factor que pueda alterar el decremento de rotíferos entre las 02 zonas de muestreo evaluadas. Por otra parte, se señala que en el medio natural los rotíferos pueden sobrevivir en aguas con niveles de oxígeno tan bajos como 2 ppm (0.002 mg/ml), en esta investigación la media total de OD fue de 1.92 mg/ml, permitiendo entonces la supervivencia de estas especies. Además, cabe señalar que los rotíferos son muy eficientes al consumir bacterias dispersas y floculadas así como pequeñas partículas de materia orgánica y su presencia en un efluente indica un proceso de purificación biológica aerobia muy eficiente (Cerezo, 2011); esto explicaría el elevado nivel de OD registrado en el mes de Diciembre (2017) y las mayores densidades de rotíferos registradas en el mismo mes. Finalmente, en



CRIP (2013), el rango óptimo de temperatura varía de acuerdo a factores específicos e intraespecíficos especie o cepa, autores como Romero (2008) señala que varias especies de *Brachionus* sobreviven a una temperatura óptima de  $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , mientras que Rosales (2012) indica que las diferentes especies de rotíferos pueden desarrollarse en temperaturas que van desde los  $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta los  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; la media total de la temperatura entre los tres periodos evaluados (diciembre, 2017; marzo y junio, 2018) fue de  $24.0892\text{ }^{\circ}\text{C}$ , óptimo para la supervivencia de rotíferos; sin embargo, cabe recalcar que no se trata de aguas para cultivo, pero estos valores ayudarían a la presencia de estas especies de rotíferos en los cuerpos de agua de la PTAR-SJL.

La presencia frecuente de las 04 especies de rotíferos encontradas en las muestras de agua de la PTAR-SJM a lo largo de los 03 muestreos, permiten definirlos como bioindicadores de las 02 zonas evaluadas dentro de la planta. El decremento de la densidad de *Keratella sp.*, *B. plicatilis*, *B. angularis* y *B. quadridentatus* de la Entrada de Sedimento a la Entrada de Pulimento indicaría que el proceso de la PTAR funciona de forma eficiente al disminuir la concentración de estos organismos, garantizando la mejora de la calidad de agua; sin embargo, son necesarios estudios microbiológicos para reforzar este indicador. Los horarios de muestreo no afectaron las densidades de las especies evaluadas, por tanto, no es considerado un factor discriminante.

El siguiente paso a esta investigación es establecer el índice de cada indicador, este trabajo sienta las bases para este reto.

## VII. CONCLUSIONES

---

1. Se caracterizaron cualitativamente las especies de rotíferos encontradas en la PTAR-SJL, identificándolas como *Keratella sp.*, *B. plicatilis*, *B. angularis* y *B. quadridentatus*.
2. Los parámetros fisicoquímicos de pH, oxígeno disuelto y temperatura de las aguas de la PTAR-SJM permiten un ambiente adecuado para el desarrollo de los rotíferos.
3. Las cuatro especies de rotíferos identificadas podrían ser empleadas como indicadoras de la calidad ambiental en la PTAR-SJL.
4. La densidad de todas las especies de rotíferos (*Keratella sp.*, *B. plicatilis*, *B. angularis* y *B. quadridentatus*) identificadas en el cuerpo de agua de la PTAR-SJM es mayor en la Entrada de Sedimento y disminuye en la Entrada de Pulimento.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade-Sossa C. et al. 2011. Efectos de la fluctuación del nivel del agua sobre la estructura del ensamblaje de rotíferos en el Lago Largo (Sistema Yahuaraca – Llanura de inundación del Río Amazonas – Colombia). *Caldasia*, 33(2): 519-537.
- Cedron O. y Cribilleros A. diagnóstico del sistema de aguas residuales en Salaverry y propuesta de solución. Trujillo-Perú: Universidad Privada Antenor Orrego; 2017.
- Cerezo J. Estación depuradora de aguas residuales. Tesis de pregrado. España: Universidad Politécnica de Cataluña; 2011.
- Ciros-Perez, J., Gomez, A., & Serra, M. 2001. On the taxonomy of three sympatric sibling species of the *Brachionus plicatilis* (Rotifera) complex from Spain, with the description of *B. ibericus* n. sp. *Journal of Planlton Research*, 23 (12): 1311-1328.
- Cisneros R. 2011. Rendimiento poblacional del rotífero nativo *Brachionus* sp. "Cayman", utilizando diferentes enriquecedores. *Rev. Ecología Aplicada*, 10(2), 2011
- De Martino E., Passi N., Papayannis M., Serna J., Sobral F. y Gomez M. 2017. Células residuales post denudación y su influencia en los resultados de ICSI. *Rev. Reproducción*, 32:17-21.
- Espinoza R. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Juan de Miraflores. Tesis para optar el Grado de Master en Gestión y Auditorías Ambientales. 2010. Universidad de Piura.
- Iannacone et. al. 2013. Rotíferos y otras especies zooplanctónicas litorales de la laguna de Paca y Ñahuinpuquio, Junin, Perú. *Rev. Neotrop. Helminthol.*, 7(1)
- Iannacone, J. & Alvarino, L. 2007. Diversidad y abundancia de comunidades zooplanctónicas litorales del humedal Pantanos de Villa, Lima, Perú. *Gayana*, 71: 49-65
- Larios F.; González C. y Morales Y.. Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y Hacer Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Ignacio de Loyola*. 2015; 2 (2): 09-25.

- López R. y Herrera K. Planta de tratamiento de aguas residuales para reuso en riego de parques y jardines en el distrito de la Esperanza, provincia Trujillo, La Libertad. Tesis de pregrado. Trujillo-Perú: Universidad Privada Antenor Orrego; 2016.
- Maldonado et al. Efecto de la temperatura sobre el crecimiento poblacional del Rotífero *Brachionus rotundiformis* (Tschugunof 1921) cultivado con tres dietas. En XXII Reunión Científica ICBAR, Agosto. Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2013.
- Oliveira, Silva y Terra nova. 2015. Rotíferos como indicadores da qualidade de água em cultivo de tilápias (*Oreochromis niloticus*) com utilização de águas salobras. Acta Fish. Aquat. Res. 3 (1): 65-76.
- Paredes C., J. Iannaccone & L. Alvarino. 2007. Biodiversidad de invertebrados de los humedales de Puerto Viejo, Lima. Perú. Neotrop. Helminthol 1(2): 21–30.
- Pérez F. y Camacho K. Tecnologías para el tratamiento de aguas servidas. Tesina. Zona Poza Rica – Tuxpan: Universidad Veracruzana; 2011.
- Centro Regional de Investigación Pesquera (CRIP). Protocolo de Rotíferos. Manzanillo, Colima. México. 2013
- Romero L. Caracterización morfométrica y aspectos filogenéticos de cepas de rotíferos del grupo *Brachionus plicatilis* (ROTIFERA: Brachionidae) utilizados en la acuicultura peruana. Tesis de Maestría. Lima-Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2008.
- Rosales R. Efecto de la temperatura, la salinidad y sus interacciones sobre el crecimiento poblacional del rotífero nativo *Brachionus* sp. Cayman, cepa Chilca, Perú. Tesis de pregrado. Lima-Perú: Universidad Ricardo Palma; 2012.
- Samanez, I. 1988. Rotíferos Planctónicos de la Amazonía Peruana I. Departamento de Ucayali, Perú. Rev. Per. Biol. (1)141-167.
- Samanez, I. 1991. Rotíferos Planctónicos de la Amazonía Peruana II: Departamento de Loreto. Pub. Mus. Hist. nat. (A) 38:1-4
- Samanez, I.; RIOFRIO, C. 1995. Composición de la fauna de rotíferos y su relación con las macrofitas acuáticas en una laguna fluvial, Ucayali. Publ. Mus. Hist. nat. (A) 50: 20-30.

- Segers H. 2002. The nomenclature of the Rotifera: annotated checklist of valid family and genus-group names. *Journal of Natural History*, 36, 631–640.
- Toscano R. & Severino R. 2013. Brachionidae (Rotifera: Monogononta) de la albufera El Paraíso y el reporte de *Brachionus ibericus* en el Perú. *Rev. peru. biol.* 20(2): 177 - 180
- M. Viteri-Garcés. Determinación de bioindicadores y protocolos de la calidad de agua en el embalse de la Central Hidroeléctrica Baba. *Dom. Cien.* 2017; 3 (3): 628-646.
- Zoppi E. & Pardo M. Rotíferos. Instituto de Zoología Tropical. En: Fundación Empresas Polar. *Biología*. Universidad Central de Venezuela; 2013. p. 242-253.